

Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské - Technické univerzity Ostrava

číslo 2, rok 2010, ročník X, řada stavební

článek č. 16

Aleš POLÁČEK¹, Libuše HOFRICHTEROVÁ²**PŘÍNOS ELEKTRICKÉ REZISTIVITNÍ TOMOGRAFIE (ERT) PŘI POSUZOVÁNÍ
HOMOGENITY SILNIČNÍHO TĚLESA.****CONTRIBUTION OF ELECTRICAL RESISTIVITY TOMOGRAPHY (ERT) IN ASSESSMENT
OF HOMOGENITY OF ROAD EMBANKMENT****Abstrakt**

Elektrická rezistivní tomografie (ERT) je používána k řešení různých problémů, například v geologickém průzkumu, geotechnických výzkumech atd. V tomto článku jsou představeny vybrané výsledky získané při posuzování homogenity silničního tělesa.

Abstract

Electrical resistivity tomography (ERT) is used to solution of different problems, for example in the geological surveys, geotechnical investigations etc. Selected results obtained over evaluation of homogeneity of road embankment are noted in this paper.

Key words: Electrical resistivity tomography, road embankment

1 ÚVOD

V posledních přibližně deseti letech se setkáváme s prezentací výsledků použitím relativně nové metody resp. metodiky měření metodou odporového profilování, která je nejčastěji označována jako odporová tomografie, nebo zkráceně „multikabel“ apod., nejvhodnější je však označení jako elektrická rezistivní tomografie – ERT. Princip měření, stejně tak zpracování naměřených dat je již dostatečně známo, např. LOKE (1999), takže pozornost bude věnována zejména využití ERT na zvolený praktický problém.

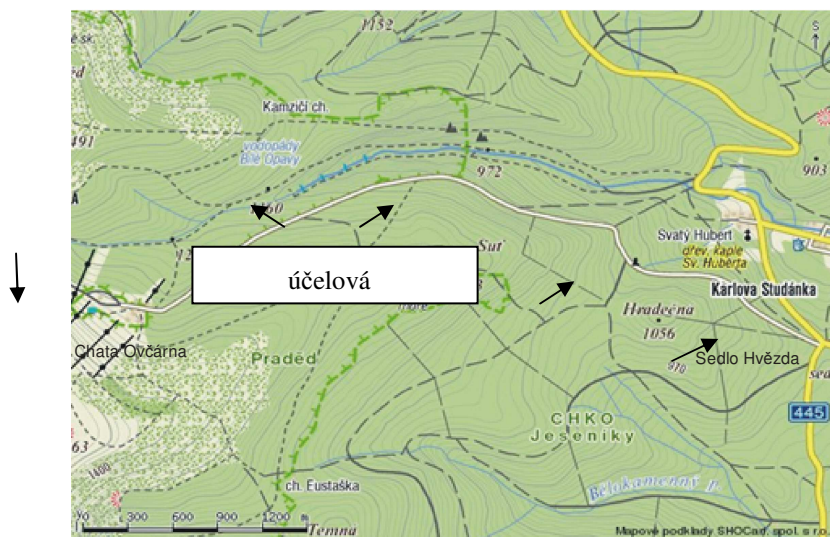
Při řešení různých úkolů spadajících do problematiky inženýrské geologie, hornické geofyziky, geomorfologie apod., je samozřejmě nutné mít představu o geologických poměrech získaných nejen rekognoskačí terénu, ale i na základě přímých a nepřímých průzkumných prací, tedy vrtného a geofyzikálního průzkumu. Kvalifikovaný sanační projekt nelze tak provádět bez konkrétní představy o geologických poměrech podloží v požadované hloubce včetně zisku celé řady geotechnických parametrů. V tomto případě má nezastupitelné místo průzkumný jádrový vrt.

V některých případech jsou však možnosti vrtání značně omezené, ať už z důvodů finančních, ale zejména provozních, kdy nelze vrtat v potřebném rozsahu (době) kvůli zajištění provozu na komunikacích, nebo jsou geologické poměry natolik komplikované a pro vrtání nepříznivé, že se nepodaří dosáhnout potřebných hloubek a vrt musí být předčasně ukončen.

Takto by bylo možné charakterizovat poměry na místně účelové komunikaci, která vede ze sedla Hvězda do lyžařského areálu na Pradědu v Jeseníkách (obr. 1).

¹ Ing. Aleš Poláček, CSc., VŠB – Technická univerzita, 17. listopadu 15/2172, Ostrava, e-mail: ales.polacek@vsb.cz

² Doc. RNDr. Libuše Hofrichterová, CSc., VŠB – Technická univerzita, 17. listopadu 15/2172, Ostrava, e-mail: hofrichterova@vsb.cz



Obr. 1: Účelová komunikace Hvězda – Ovčárna (černé šipky)

Vozovka je vybudována ve značné délce ve svahu, viz obr. 1, a tato situace, spolu s celoročním provozem a zejména nepříznivými klimatickými poměry po značnou část roku způsobily již neudržitelný stav, který hrozí významným omezením provozu, případně jejím uzavřením pro minimálně autobusovou dopravu. Na povrchu vozovky se vyskytuje celá řada podélných prasklin, které svědčí o jejím nejen povrchovém i a zejména hloubkovém porušení. Na obr. 2 je znázorněn detail jedné z podélných prasklin v délce cca 5 m.



Obr. 2: Znázornění podélných prasklin na povrchu vozovky - detail

Proto bylo rozhodnuto provést podrobný geologický průzkum, na jehož základě pak bude vypracován návrh takových sanačních opatření, které by zamezily dalšímu postupu deformace

silničního tělesa. Jako součást tohoto inženýrsko-geologického, hydrogeologického a vrtného průzkumu byla použita i metoda ERT. V tomto článku jsou uvedeny zejména výsledky získané uvedenou metodou ERT a konfrontovány s výsledky vrtného průzkumu.

2 METODIKA MĚŘENÍ METODOU ELEKTRICKÉ REZISTIVITNÍ TOMOGRAFIE A ZPRACOVÁNÍ ZÍSKANÝCH VÝSLEDKŮ

Geofyzikální měření bylo provedeno aparaturou ARES (GF Instruments Brno). Přístroj ARES je integrovaná jednotka v terénním provedení, odolná proti povětrnostním vlivům, která sdružuje výkonný vysílač spolu s citlivým přijímačem. Pro zpracování naměřených dat byl použit software RES2DINV. Na obr. 3 a, b je znázorněna použitá aparatura a proces zapojení a uzemnění použitých elektrod.



Obr. 3 a Měřicí jednotka ARES



Obr. 3 b Zapojení elektrod při měření na komunikaci Hvězda – Ovčárna

Reálný hloubkový dosah měření při použitím systému 40 elektrod a použité metodice „rolování“ a vzdálenosti elektrod od sebe 2 m u všech profilů byl cca 10 m. Metodika multielektrodového rezistivního měření při použití uvedené aparatury umožňuje získat velký počet hodnot zdánlivé rezistivity ze symetrických čtyřbodových uspořádání a umožnit tak vymezení rezistivně odlišných kvaziisotropních částí proměřovaného prostředí.

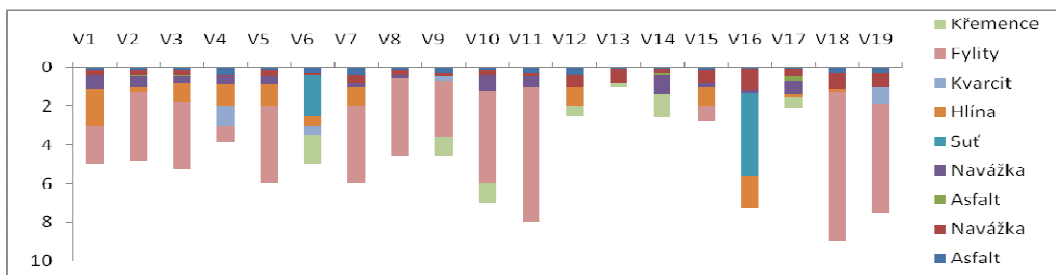
Naměřený i interpretovaný soubor dat jsou soubory typu lognormálního rozložení a tato skutečnost je zohledněna při volbě logaritmického měřítka – volbě kroku intervalu izolinií na interpretovaných vertikálních izoohmických řezech.

Využitím interpretačního postupu RES2Dinv byly získány 2D rezistivní modely zkoumaného prostředí ve formě vertikálních řezů.

Výsledky měření i jeho interpretace jsou znázorněny na obr. 5a, 5b, 5c, 6a, 6b, (Poláček, A. 2008), kde formě izolinií zdánlivé rezistivity jsou znázorněny získané rezistivní vertikální (odporové) řezy.

3 INTERPRETACE ZÍSKANÝCH VÝSLEDKŮ

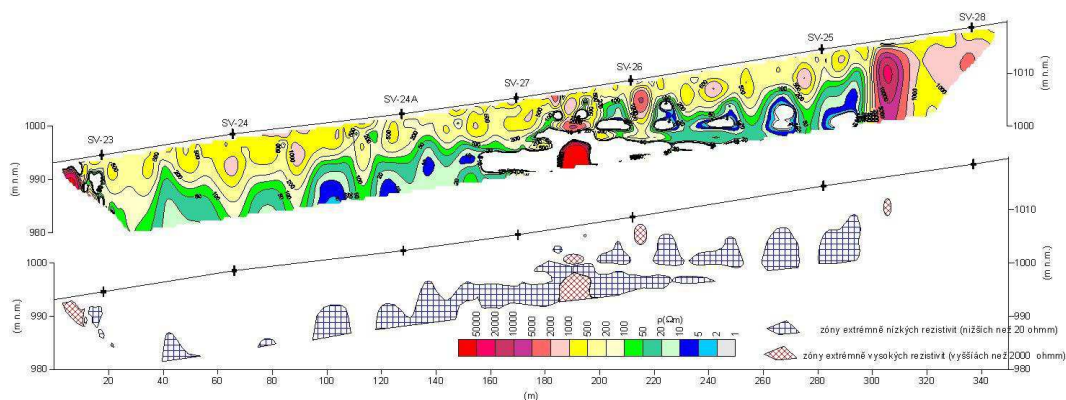
Interpretace geofyzikálního měření vycházela z výsledků vrtného průzkumu. Nutno konstatovat, že geologické poměry lokality byly značně komplikované. Zájmové území je z petrografického hlediska tvořené převážně metamorfity krystalinika. Převážně se jednalo o horniny typu krystalických břidlic, fylitů, kvarcitů, místy i charakteru sutí. (Kokotková, 2008). Uvedené horniny vykazovaly různý stupeň zvětrání způsobený jak procesy geologickými a metamorfními, tak pravděpodobně zejména v poslední době i prouděním vody pod tělesem komunikace. Schematicky znázorněné výsledky vrtného průzkumu na profilu P 2 jsou znázorněny na obr. č. 4. Ukázalo se, že vzhledem ke komplikovaným geologickým poměrům dosažená hloubka nepřesáhla vesměs 4 – 6 m. Čísla vrtů na tomto obrázku neodpovídají skutečnému označení jednotlivých vrtů. Jejich vzdálenost byla, jak vyplývá z obrázků uvádějících geofyzikální výsledky cca 50 m. Hloubkové intervaly, mocnosti jednotlivých základních horninových typů jsou zachovány.



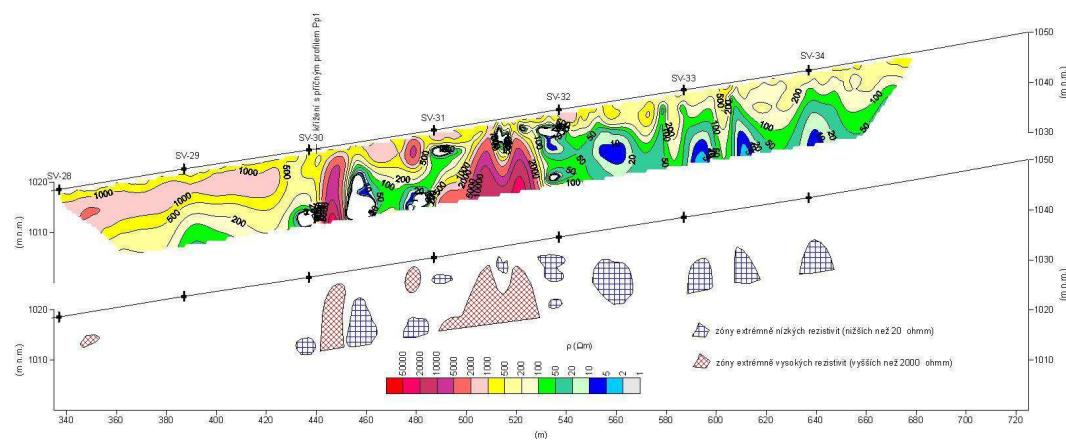
Obr. 4: Schématické znázornění výsledků vrtného průzkumu na části proměřovaného úseku – profil P 2 (upraveno podle Kokotková, 2008).

Profil P – 2 (délka 1018 m, úsek mezi vrty SV-23 až SV - 41)

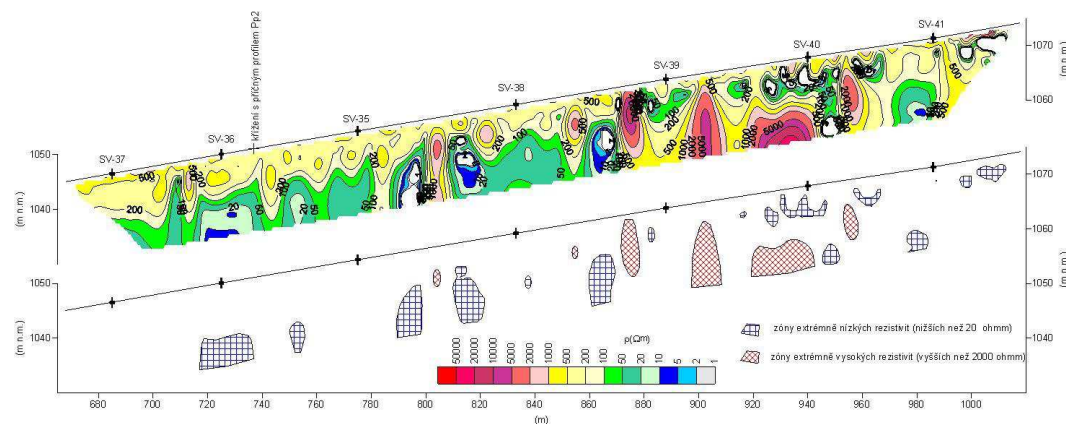
Průběh rezistivity na tomto profilu je znázorněn na obr. 5a, 5b a 5c. Vzhledem ke způsobu měření, resp. k celkové délce profilu je prezentace výsledků rozdělena na 3 části dlouhé vždy 350 m. Tyto části pak jsou označeny jako P2a, P2b a P2c.



Obr. 5a: Výsledky interpretace ERT na první části profilu P 2 označeném jako P2 a



Obr. 5b: Výsledky interpretace ERT ve střední části profilu P 2 označeném jako P2 b



Obr. 5c: Výsledky interpretace ERT v poslední části profilu P 2 označeném jako P2 c

Průběhy rezistivit na profilu P-2, ve všech třech jeho úsecích jsou v mnoha případech velmi podobné. Jak v horizontálním, tak ve vertikálním směru je patrná značná rezistivní proměnnost, která tak doplňuje a v mnoha případech upřesňuje výsledky vrtného průzkumu.

Zejména v mnoha případech pokles rezistivit do hloubky je významným poznatkem pro hodnocení nehomogenity silničního tělesa. S největší pravděpodobností jsou výrazné změny v hodnotách rezistivity způsobeny existencí proudící podzemní vody pod postupně stále více se rozrušujícím povrchem proměřované komunikace. Jako sekundární faktor lze považovat genetické a strukturně tektonické poměry této geologicky a petrograficky poměrně komplikované oblasti.

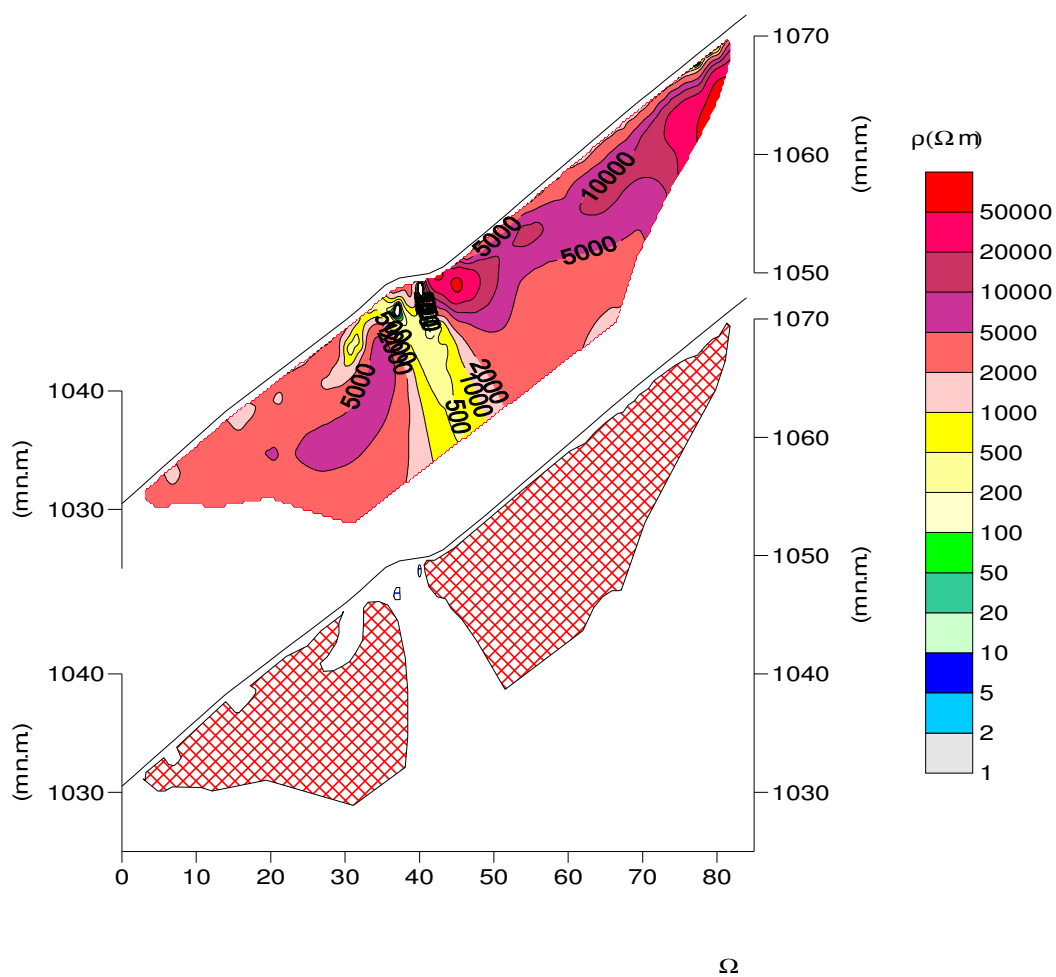
Podélný profil byl pak na určených úsecích doplněn měřeními na příčných profilech označených jako Pp1, Pp2 – viz Obr. 5b a 5c. Výsledky těchto měření jsou znázorněny na obr. 6a a 6b.

Průběhy rezistivit na těchto profilech mají podobný, takřka shodný charakter, výrazně však odlišný od podélného profilu P 2. Pod povrchem vozovky je opět nízkorezistivní zóna s velikostmi ρ 20 - 2000 ohmm. Na obě strany od komunikace se vyskytují pouze zóny s extrémně vysokými rezistivitami až do 10 000 ohmm.

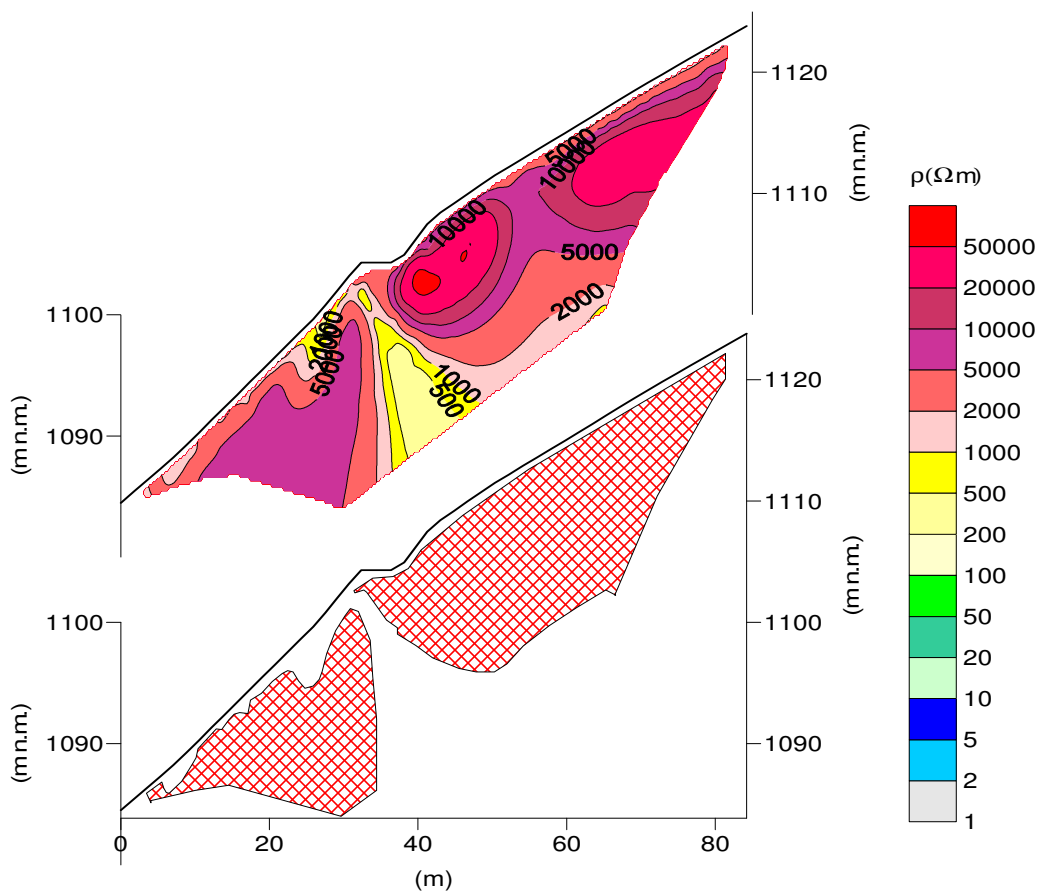
4 HODNOCENÍ ZÍSKANÝCH VÝSLEDKŮ POUŽITÍM METODY ERT A JEJICH DISKUZE

Na základě provedené interpretace geofyzikálního rezistivitního měření je možné vyslovit následující závěry:

- srovnáním výsledků vrtů, provedených na účelové komunikaci do různé hloubky, nepřesahující vesměs velikost 10m (spíše méně) a výsledků rezistivitní interpretace byl získány grafické závislosti jednotlivých typů zemin a hornin na zjištěné rezistivitě. Jde o graf typu box-whisker, v nichž jsou znázorněna rozpětí hodnot. Červeně vybarvené obdélníčky omezují hodnoty 1. a 3. kvartilu, s vyznačením hodnoty mediánové. V případě malého počtu hodnot je vodorovnou čarou znázorněna tato hodnota, případně červené obdélníčky vymezují rozpětí hodnot.
- Z těchto získaných závislostí znázorněných na obr. č. 7 vyplývá, že získání věrohodné závislosti mezi rezistivitou a petrografickým typem prostředí je velmi problematické. Vliv zvodnění se projevuje jednak snížením hodnot ρ , jednak zúžením rozpětí.

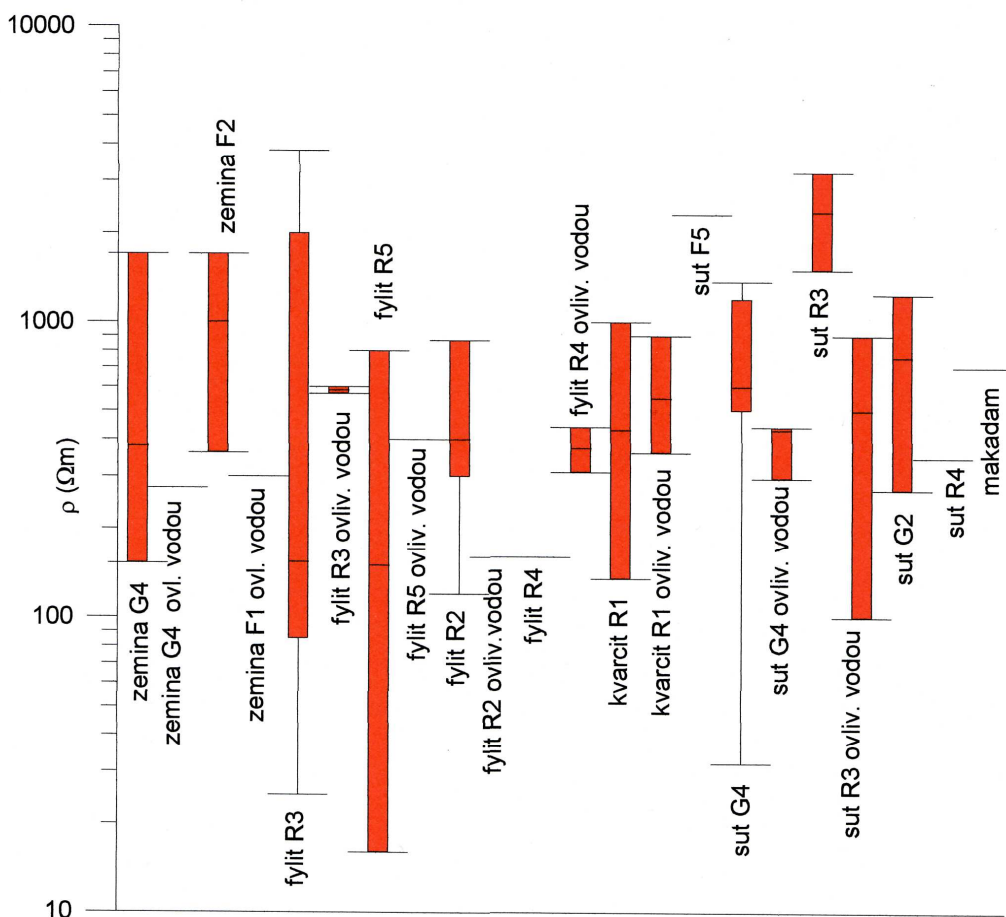


Obr.6a: Interpretace ERT na příčném profilu Pp2



zóny extrémně vysokých rezistivit (vyšších než 2000 ohmm)

Obr.6b: Interpretace ERT na příčném profilu Pp3



Obr.7: Závislost jednotlivých typů hornin a zemin na zjištěné rezistivitě na základě měření ERT a geologické dokumentace vrtů.

- průběhy rezistivity na podélném profilu P-2 (jeho částech) jsou v mnoha případech podobné. Jako významné pro hodnocení fyzikálního stavu prostředí pod povrchem komunikace se jeví hloubkové úrovně, v nichž byly naměřeny a interpretovány velmi nízké hodnoty ρ , svědčící o značném porušení a fyzikální nehomogenitě hornin v tomto hloubkovém intervalu a zejména pak ty úseky, kdy s hloubkou velikost rezistivity klesá.
- použití interpretačního programu RES2DINV je řešením inverzního procesu. Aplikace tohoto programu tak představuje proces, jehož výsledkem je modelové řešení, jehož odezva je stejná jako aktuální naměřené údaje. Získané rezistivní řezy viz obr. 5a, 5b, 5c, 6a, 6b tak představují modelové řešení s relativními velikostmi hodnot měrného odporu.
- Model je tak idealizovaná matematická představa horninového prostředí. Obsahuje fyzikální parametry, které můžeme získat z naměřených údajů. Všechny inverzní metody se snaží určit model prostředí, jehož odezva souhlasí s naměřenými údaji, avšak vždy v určitých mezích. Výsledný inverzní model v použitém programu RES2DINV je představou modelových parametrů skutečných hodnot měrného odporu ve formě buněk,

zatímco naměřené údaje jsou hodnotami měrného odporu bodovými (Loke 1994, 2004, 2010, Sasaki 1992).

- Bíle omezené plochy na vertikálních izoohmických řezech vymezující místa s extrémně nízkými hodnotami rezistivit jsou tedy výsledným modelovým řešením, tzn., že představují de facto nízkorezistivní buňky s určitým počtem naměřených hodnot. Na základě konkrétních rezistivitních poměrů v místě měření se může stát, že budou naměřeny i záporné hodnoty rezistivity, které se projeví v procesu zpracování jako hodnoty nulové a tedy „nízkorezistivní“. S touto situací si program zatím nedokáže poradit. Občasné naměření záporných hodnot rezistivit je dáno samou fyzikální podstatou použité metody ERT a je možné se s tímto případem setkat převážně při měřeních v horninách velmi nízkými rezistivitami (ústní sdělení GF Instruments). V těchto případech nelze vyloučit i vliv spolupůsobení různých antropogenních faktorů.
- Na interpretované nízké hodnoty rezistivit (izolinie s hodnotami řádově 10-1 ohmm a menší) lze tak při hodnocení získaných výsledků pohlížet jako na místa s vysokou vodivostí, tedy např. jako na místa, která jsou v proměřovaném horninovém prostředí např. intenzivně tektonicky porušená s vysokým stupněm nasycení podzemní vodou. Je samozřejmé, že uspokojivé vysvětlení takto naměřených hodnot závisí vždy na konkrétních poměrech v místě měření a nelze je zobecňovat.
- výsledky geofyzikálního průzkumu názorně ukázaly možnosti metody ERT při řešení uvedené problematiky. Lze předpokládat, že interpretované rezistivní vertikální řezy umožňují upřesnění představy k hodnocení homogenity, případně porušenosti tělesa vozovky. Jsou tak významným informačním prostředkem, který doplňuje, nikoliv však nahrazuje výsledky vrtného průzkumu v komplikovaných geologických podmínkách.

LITERATURA

- [1] POLÁČEK, A., (2008): Zpráva o geofyzikálním měření na účelové komunikaci MSK Hvězda – Ovčárna. VŠB-TU Ostrava.
- [2] RES2INV ver.3.44 Geoelectrical Imaging 2D&3D, 2002. GEOMOTO SOFTWARE
- [3] LOKE, M. H., (1999): Electrical imaging surveys for environmental and engineering studies.
- [4] KOKOTKOVÁ, E., (2008): Výsledky geologické dokumentace vrtů v úseku Hvězda – Ovčárna
- [5] LOKE, M. H., (1994): The inversion of two-dimensional resistivity data, Unpubl. PhD thesis, University of Birmingham.
- [6] Loke, M.H., (2010): Tutorial: 2-D and 3-D electrical imaging surveys, www.geoelectrical.com/downloads.php.
- [7] SASAKI, Y., (1992): Resolution of resistivity tomography inferred from numerical simulation, Geophysical Prospecting, 40, p. 453-464.
- [8] TURČAN, M., et al. (2002): Statistika, skripta VŠB TU Ostrava

Oponentní posudek vypracoval:

Prof. Ing. Karel Müller, DrSc., Ústav geoniky AVČR, v.v.i., Ostrava